

변형 삼각간섭계에 있어서 광전달함수의 two-pupil 합성

(Two-pupil synthesis of optical transfer function in the modified triangular interferometer)

김수길*

(Soo-Gil Kim)

요 약

Two-pupil 합성방법을 이용하여 변형 삼각간섭계의 광전달함수를 합성하고 분석하였다. 그리고, 변형 삼각간섭계의 경우에 two-pupil 방법을 사용함으로써 바이폴라 함수를 구하여 바이어스가 제거된 복소홀로그램을 얻을 수 있다는 것을 입증하였다.

Abstract

We synthesized and analyzed the optical transfer function(OTF) of the modified triangular interferometer(MTI) using two-pupil synthesis method. In the case of MTI, we demonstrated that we can obtain bipolar functions and complex hologram without bias by two-pupil synthesis method.

Key Words : two-pupil synthesis, optical transfer function, modified triangular interferometer, pointspread function, complex hologram

1. 서 론

인코히어런트(incoherent) 광처리 시스템은 낮은 노이즈 특성, 물체의 위상 변화에 대한 둔감함, 그리고 유연한 필터 위치변화에 대한 강인성 때문에 매력적이다[1]. 현재 인코히어런트 시스템의 연구는 음이 아닌 실수함수에 제한받지 않는 임펄스 응답 또는 점확산 함수(pointspread function; PSF)에 의해 특징지어지는 광 하이브리드 시스템의 개발쪽으로 연구가 진행되고 있다.

기존의 인코히어런트 주사 또는 이미징 시스템에 서는 음이 아닌 intensity 분포 함수(PSF)때문에 영상처리에 제한을 받는다[2]. 그러한 제한은 원하는 합성 PSF를 위해 two-pupil 시스템을 도입함으로써 극복될 수 있다[1,3]. 임의의 bipolar 임펄스 응답은 pupil 함수가 임의로 정의될 수 있다면 two-pupil 합성방법을 이용함으로써 합성될 수 있다. two-pupil 시스템은 일반적으로 출력을 분리함으로써 구현될 수 있다. 즉, 공간 또는 시간 반송자에 기초한 상호작용 항과 비상호작용 항을 분리함으로써 구현된다 [1,4,5,6]. 두 개의 pupil은 진폭[1,6]이나 파면분할 [3,4]에 의해 생성될 수 있다.

합성방법은 전달함수의 수학적 구조에 따라 크게 두 가지 종류로 나누어지며, nonpupil interaction 방

* 주저자 : 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수

Tel : 041-540-5676, Fax : 041-540-5693

E-mail : sgkim@office.hoseo.ac.kr

접수일자 : 2004년 2월 6일

1차심사 : 2004년 2월 9일

심사완료 : 2004년 3월 3일

법과 pupil interaction 방법이 있다. nonpupil interaction 방법과 pupil interaction 방법은 다시 뿔샘과 캐리어(공간, 시간 캐리어)를 이용하는 방법으로 구분될 수 있다[1].

변형 삼각간섭계에 의한 two-pupil 합성이 최근에 보고되었다[7]. Cochran 삼각간섭계[8]에 두 개의 파장판(waveplate)과 편광판을 추가함으로써 간단한 pupil interaction 처리기술이 구현되었다.

그런데, 이 논문은 시스템의 동작원리에 대해서만 적절히 기술되어 있으며, two-pupil 합성관점에서는 해석이 이루어지지 않고 있다.

본 논문에서는 일반적인 two-pupil 합성을 소개하고, 변형 삼각간섭계에 대한 OTF 합성을 통해 인코히어런트 홀로그래프의 바이어스와 공액영상의 제거가 가능하다는 것을 이야기하고자 한다.

2. OTF의 two-pupil 합성

2.1. 인코히어런트 이미징 시스템의 OTF

코히어런트 시스템에 대하여 이미지면에서 복소 필드 $U_i(x_i, y_i)$ 는 물체면에서의 필드 $U_o(x_o, y_o)$ 와 시스템의 임펄스 함수 $h(x_i, y_i; x_o, y_o)$ 의 컨볼루션(convolution)에 의해 구할 수 있다. 공간적으로 불변인 시스템에 대하여, 다음과 같은 관계식을 가진다.

$$U_i(x_i, y_i) = \int \int U_o(x_o, y_o) h(x_i - x_o, y_i - y_o) dx_o dy_o = U_o * h \quad (1)$$

여기서, h 는 (x_o, y_o) 에서의 점광원에 대응하는 이미지 좌표 (x_i, y_i) 에서의 진폭이고, 식 (1)의 $*$ 는 컨볼루션을 나타낸다. 그러면 이미지의 intensity 분포는 식 (2)와 같이 얻어진다.

$$I_i(x_i, y_i) = \langle U_i(x_i, y_i; t) U_i^*(x_i, y_i; t) \rangle \quad (2)$$

여기서 $\langle \rangle$ 는 시간평균을 나타낸다.

그리고, 식 (1)을 푸리에 변환하면, 식 (3)과 같은 관계식이 얻어진다.

$$F\{U_i\} = F\{U_o\} F\{h\} \quad (3)$$

이미징 시스템의 코히어런트 전달 함수는 식 (3)으로부터 식 (4)와 같이 정의된다.

$$H(f_x, f_y) = \frac{F\{U_i\}}{F\{U_o\}} = F\{h\} \quad (4)$$

그런데, 이상적인 조건하에서 $h = F\{P\}$ 이므로, 식 (4)는 식 (5)와 같이 된다.

$$H(f_x, f_y) = F\{h\} = F\{F\{P\}\} = P(f_x, f_y) \quad (5)$$

식 (5)로부터, 코히어런트 전달함수는 시스템의 pupil 함수와 같다는 것을 알 수 있다. 코히어런트 전달함수 H 는 공간주파수의 통과밴드를 규정지을 때 코히어런트 이미징 시스템의 성능을 특징짓는다.

인코히어런트 이미징 시스템의 경우에, 이미지의 intensity 분포는 식 (6)과 같다.

$$I_i(x_i, y_i) = \int \int I_o(x_o, y_o) |h(x_i - x_o, y_i - y_o)|^2 dx_o dy_o \quad (6)$$

여기서, $|h|^2$ 는 PSF의 intensity이다. 주파수 영역에서의 관계를 표현하면, 식 (7)과 같다.

$$F\{I_i\} = F\{I_o\} F\{|h|^2\} \quad (7)$$

인코히어런트 이미징 시스템의 OTF는 빛의 세기를 기반으로 식 (8)과 같이 정의된다.

$$OTF = \frac{F\{I_i\}}{F\{I_o\}} = F\{|h|^2\} \quad (8)$$

$h = F\{P\}$ 의 관계와 식 (5)를 이용하면, 식 (8)은 다음과 같다.

$$OTF = P \otimes P \quad (9)$$

여기서, \otimes 는 correlation 연산을 나타낸다. 그러므로 인코히어런트 이미징 시스템에 있어서 OTF는 단순히 시스템의 pupil 함수의 자기상관(autocorrelation)이 된다는 것을 알 수 있다.

2.2. Two-pupil 전달함수

그림 1의 시스템은 two-pupil 합성방법을 이론적으로 설명하는데 도움이 된다.

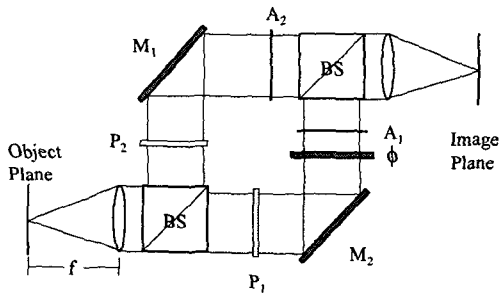


그림 1. Two-pupil 공간필터링 시스템의 예(마흐젠더 간섭계 구조)
Fig. 1. Example of two-pupil spatial filtering system(Mach-Zehnder configuration)

렌즈사이에 확장된 pupil 영역은 광분할기에 의해 두개의 암으로 분리되고, 각 암은 그 자신의 pupil transparency(P_1, P_2)와 attenuator(A_1, A_2)를 포함하고 있다. 한쪽 암에는 위상천이기(phase shifter) ϕ 가 있다. 시스템의 한쪽 암이 차단되면, 시스템은 정상적인 one-pupil 이미징 시스템처럼 동작한다. 이 시스템의 합성 pupil 함수는 식 (10)과 같이 주어진다.

$$p(u) = A_1 p_1(u) \exp(i\phi) + A_2 p_2(u) \quad (10)$$

여기서, A_1 과 A_2 는 두 개의 attenuator와 관련

된, 양의 실수로 가정된 transmittance 인자이고 ϕ 는 조절할 수 있는 위상이다. 관련된 전달함수는 식 (8)를 통하여 다음 식과 같이 주어진다.

$$F(u) = A_1^2 [p_1(u) \otimes p_1(u)] + A_2^2 [p_2(u) \otimes p_2(u)] + A_1 A_2 [p_1(u) \otimes p_2(u)] \exp(i\phi) + [p_2(u) \otimes p_1(u)] \exp(-i\phi) \quad (11)$$

식 (11)에 대한 PSF는 다음과 같다.

$$F(x) = A_1^2 |p_1(x)|^2 + A_2^2 |p_2(x)|^2 + A_1 A_2 [p_1(x) p_2^*(x) \exp(i\phi) + p_1^*(x) p_2(x) \exp(-i\phi)] \quad (12)$$

일반적인 해석을 위한 첫단계는 실현가능한 모든 two-pupil 합성 임펄스 응답의 집합을 전개한다. 그렇게 하는데 있어서 $F(x)$ 를 $F(x, A_1, A_2, \phi)$ 의 형태로 표시된다. 그러면 물리적으로 얻을 수 있는 임펄스 응답의 기본집합은 다음과 같이 얻어진다.

$$F_1(x) = F(x, 1, 0, 0) = |p_1(x)|^2 \quad (13)$$

$$F_2(x) = F(x, 0, 1, 0) = |p_2(x)|^2 \quad (14)$$

$$F_R(x) = \frac{1}{4} [F(x, 1, 1, 0) - F(x, 1, 1, \pi)] = \frac{1}{2} [p_1(x) p_2^*(x) + p_1^*(x) p_2(x)] = \text{Re}[p_1(x) p_2^*(x)] = |p_1(x) p_2(x)| \cos[\theta_1(x) - \theta_2(x)] \quad (15)$$

$$F_I(x) = \frac{1}{4} [F(x, 1, 1, -(\pi/2)) - F(x, 1, 1, (\pi/2))] = \frac{i}{2} [p_1(x) p_2^*(x) - p_1^*(x) p_2(x)] = \text{Im}[p_1(x) p_2^*(x)] = |p_1(x) p_2(x)| \sin[\theta_1(x) - \theta_2(x)] \quad (16)$$

여기서, $\theta(x) = \text{Arg}[p(x)]$ 이다. 그러면, 식 (13)에서 (16)에 대응되는 전달함수는 다음과 같다.

$$F_1(u) = p_1(u) \otimes p_1(u) \quad (17)$$

$$F_2(u) = p_2(u) \otimes p_2(u) \quad (18)$$

변형 삼각간섭계에 있어서 광전달함수의 two-pupil 합성

$$F_R(u) = \frac{1}{2} [p_1(u) \otimes p_2(u) + p_2(u) \otimes p_1(u)] \quad (19)$$

$$F_I(u) = -\frac{i}{2} [p_1(u) \otimes p_2(u) - p_2(u) \otimes p_1(u)] \quad (20)$$

이러한 방정식들을 선택하는데 있어서, 신중하게 pupil interaction 성분과 nonpupil interaction 성분을 분리했다. 식 (12)에 주어진 임의의 함수형태는 4개의 임펄스 응답성분의 선형결합을 통해서 구성될 수 있다는 것을 알 수 있다.

3. 변형 삼각간섭계의 OTF의 two-pupil 합성

3.1. Cochran 삼각간섭계의 OTF

그림 2는 Cochran이 제안한 삼각간섭계를 보여준다[8]. Cochran은 이 시스템을 이용하여 3차원 물체를 홀로그래프로 저장하고 복원하는 연구를 수행하였다. 그러나, 복원영상에는 바이어스와 공액영상이 존재하는 문제점이 있었다. OTF 합성을 이용하여 바이어스와 공액영상을 제거해야 하지만 Cochran 삼각간섭계의 구조하에서는 이를 수행할 수가 없다. 이에 대한 설명을 위해 보다 구체적으로 그림 2의 삼각간섭계에 대한 OTF를 구하고, 이에 대한 해석을 한다.

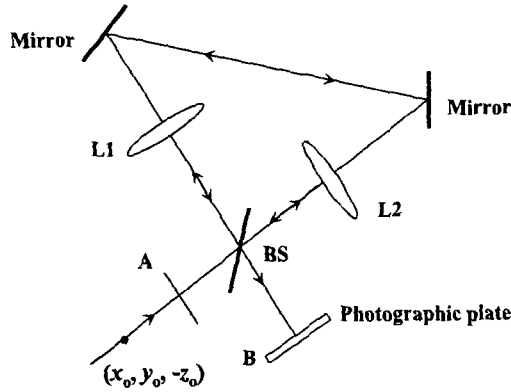


그림 2. Cochran 삼각 간섭계
Fig. 2. Cochran's triangular interometer

그림 2는 그림 3처럼 시계방향과 반시계방향에 대

하여 비대칭 초점을 가진 두개의 시스템으로 구성되는 것으로 생각할 수 있으므로 그림 3의 one-pupil 구조에서의 OTF를 먼저 구한다.

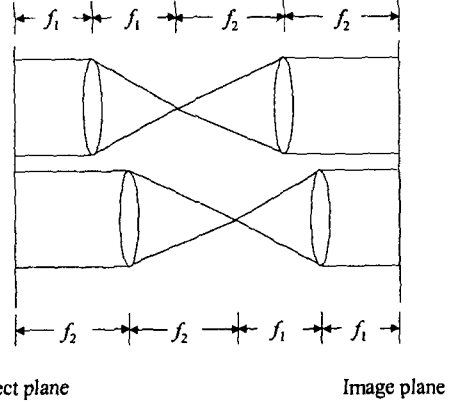


그림 3. 반대방향으로 진행하는 빛에 대한 비대칭 초점 시스템

Fig. 3. Double afocal systems for the two beams circulating in opposite directions in a triangular interferometer.

삼각간섭계의 시계방향과 반시계방향의 시스템에 대한 pupil 함수는 다음과 같다[7].

$$P_{cw}(x, y) = \frac{ik}{2\sqrt{2\pi} z_0} \exp \left[-i \frac{k}{2z_0} \{ (\alpha x - x_0)^2 + (\alpha y - y_0)^2 \} \right] \quad (21)$$

$$P_{ccw}(x, y) = \frac{ik}{2\sqrt{2\pi} z_0} \exp \left[-i \frac{k}{2z_0} \{ (\beta x - x_0)^2 + (\beta y - y_0)^2 \} \right] \quad (22)$$

여기서, P_{cw} 와 P_{ccw} 는 각각 시계방향과 반시계 방향의 pupil 함수, k 는 파수(wave number), $\alpha \equiv -f_1/f_2$, $\beta \equiv -f_2/f_1$ 로 정의된다. pupil 함수에 대한 전달함수 OTF는 각각 다음과 같이 전개될 수 있다.

$$OTF_{cw} = P_{cw}(f_x, f_y) \otimes P_{cw}(f_x, f_y) \quad (23)$$

$$OTF_{ccw} = P_{ccw}(f_x, f_y) \otimes P_{ccw}(f_x, f_y) \quad (24)$$

그러면, 시계방향과 반시계방향의 비대칭 초점시스템이 합성된 그림 2의 삼각간섭계에 대한 합성 pupil 함수는 식 (25)와 같다.

$$P_{eff} = P_{cw} + P_{ccw} \quad (25)$$

그러면, 식 (25)에 대한 PSF는 식 (26)과 같다.

$$h(x, y) = |P_{ccw}(x, y)|^2 + |P_{cw}(x, y)|^2 + P_{ccw}(x, y)P_{cw}^*(x, y) + P_{cw}(x, y)P_{ccw}^*(x, y) \quad (26)$$

식 (26)에서 알 수 있는 것처럼, 인코히어런트 Cochran 삼각간섭계의 임펄스 응답(PSF)은 음이 아닌 실수 함수여서 OTF의 진폭과 위상에 제한을 부과한다. 결과적으로 처리영역을 제한한다. 예를 들면, 미세한 부분이 잘 보이도록 콘트라스트 향상을 얻기 위해 그림을 처리하기를 원한다고 하자. 이 경우에, pupil 함수를 자기상관함으로써 dc 백그라운드 노이즈를 차단하기 위한 필터를 생성할 수는 없다. 왜냐하면 어떤 함수의 자기상관은 중앙에 최대값이 존재하기 때문이다.

또한, 식 (26)에서 보는 바와 같이 Cochran 삼각간섭계에서 얻을 수 있는 PSF는 하나밖에 없다. 이는 Cochran 삼각간섭계 구조에서는 바이어스를 제거할 수 없다는 것을 의미한다.

3.2. 변형 삼각간섭계의 one-pupil 합성

그림 4는 변형 삼각간섭계를 나타낸다. 그림 4에서 PBS는 편광 광분할기를 나타낸다. 그림 5는 변형 삼각간섭계에서의 시계방향과 반시계방향의 비대칭 초점 시스템을 보여준다. 시계방향과 반시계방향의 경우에 편광은 각각 수직과 수평이다.

주어진 one-pupil 시스템에서의 pupil 함수를 Jones 벡터를 이용하여 구하면 다음 식과 같이 주어진다[9].

$$P_{mcw} = P_x R(-\phi) W_2 R(\phi) R(-\phi) W_1 R(\phi) P_{ccw} = W_{mcw} P_{ccw} \quad (27)$$

$$P_{mccw} = P_x R(-\phi) W_2 R(\phi) R(-\phi) W_1 R(\phi) P_{ccw} = W_{mccw} P_{ccw} \quad (28)$$

여기서, P_{mcw} 와 P_{mccw} 는 각각 시계방향과 반시계방향의 pupil 함수이며, P_x , $R(\phi)$, W_1 , 그리고 W_2 는 다음과 정의된다.

$$P_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R(\phi) = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi \\ -\sin \phi & \cos \phi \end{pmatrix}$$

$$W_1 = e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma_1/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma_1/2} \end{pmatrix}$$

$$W_2 = e^{-i\phi} \begin{pmatrix} e^{-i\Gamma_2/2} & 0 \\ 0 & e^{i\Gamma_2/2} \end{pmatrix}$$

$$\phi = \frac{1}{2}(n_s + n_f) \frac{\omega l}{c}$$

여기서, P_x 는 x축 편광판에 대한 Jones 행렬을 나타내고, ϕ 는 파장판의 slow axis의 x축에 대한 방위각을 의미한다. 그리고 Γ_1 와 Γ_2 는 파장판 1과 2의 위상지연을 나타낸다. 그리고 n_s 와 n_f 는 파장판의 slow axis와 fast axis의 굴절률을 의미하며, ω 는 빛의 주파수를, 그리고 l 는 파장판의 두께를, 그리고 c 는 진공에서의 빛의 속도를 나타낸다.

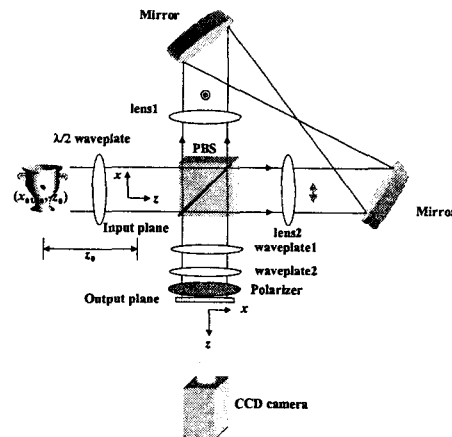


그림 4. 변형 삼각간섭계
Fig. 4. Modified triangular interferometer

변형 삼각간섭계에 있어서 광전달함수의 two-pupil 합성

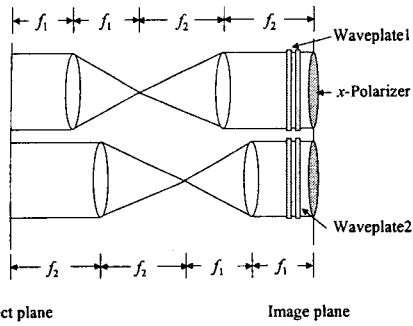


그림 5. 반대방향으로 진행하는 빛에 대한 비대칭 초점 시스템
Fig. 5. Double afocal systems for the two beams circulating in opposite directions.

식 (27)과 (28)에 대한 OTF는 다음 식과 같다.

$$OTF_{mcw} = P_{mcw}(f_x, f_y) \otimes P_{mcw}(f_x, f_y) \quad (29)$$

$$OTF_{mccw} = P_{mccw}(f_x, f_y) \otimes P_{mccw}(f_x, f_y) \quad (30)$$

위 식으로부터 변형 삼각간섭계의 경우에도 one-pupil의 경우에는 어떠한 bipolar 함수도 생성할 수 없다는 것을 알 수 있다.

3.3. 변형 삼각간섭계 구조에서의 two-pupil 합성

2장에서 설명한 OTF 합성을 토대로 변형 삼각간섭계의 OTF 합성을 하고자 한다. 그림 4의 two-pupil 형태를 가진 변형 삼각간섭계에서의 합성 pupil 함수는 식 (31)과 같다.

$$P(f_x, f_y) = \exp\left(-i\frac{\Gamma_1}{2}\right) \left[\cos\frac{\Gamma_2}{2} P_{ccw}(f_x, f_y) - i \exp(i\Gamma_1) \sin\frac{\Gamma_2}{2} P_{cw}(f_x, f_y) \right] \quad (31)$$

인코히어런트 시스템의 경우에 식 (31)의 전달함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} OTF = & \cos^2\frac{\Gamma_2}{2} P_{ccw}(f_x, f_y) \otimes P_{ccw}(f_x, f_y) \\ & + \sin^2\frac{\Gamma_2}{2} P_{cw}(f_x, f_y) \otimes P_{cw}(f_x, f_y) \\ & + i \exp(-i\Gamma_1) \cos\frac{\Gamma_2}{2} \sin\frac{\Gamma_2}{2} P_{ccw}(f_x, f_y) \otimes P_{cw}(f_x, f_y) \\ & - i \exp(i\Gamma_1) \cos\frac{\Gamma_2}{2} \sin\frac{\Gamma_2}{2} P_{cw}(f_x, f_y) \otimes P_{ccw}(f_x, f_y) \end{aligned} \quad (32)$$

식 (32)에 대한 PSF는 식 (33)과 같다.

$$\begin{aligned} h(x, y; \Gamma_1, \Gamma_2) = & \cos^2\frac{\Gamma_2}{2} |P_{ccw}(x, y)|^2 + \sin^2\frac{\Gamma_2}{2} |P_{cw}(x, y)|^2 \\ & + i \exp(-i\Gamma_1) \cos\frac{\Gamma_2}{2} \sin\frac{\Gamma_2}{2} P_{ccw}(x, y) P_{cw}^*(x, y) \\ & - i \exp(i\Gamma_1) \cos\frac{\Gamma_2}{2} \sin\frac{\Gamma_2}{2} P_{cw}(x, y) P_{ccw}^*(x, y) \end{aligned} \quad (33)$$

변형 삼각간섭계에서 바이어스를 제거하여 복소 홀로그래를 생성하기 위해서는 OTF합성을 해야 한다. 파장판의 위상지연의 조합을 이용한 OTF 합성을 통해 cosine 함수와 sine 함수를 구할 수 있다.

먼저, $\Gamma_1 = \pi/2$ 와 $\Gamma_2 = \pm\pi/2$ 일 때, 식 (33)을 통해 OTF합성을 통해 cosine 성분만을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_c(x, y) = & \frac{1}{2} \left\{ h\left(x, y; \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) - h\left(x, y; \frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2}\right) \right\} \\ = & |P_{cw}(x, y) P_{ccw}(x, y)| \cos\{\theta_{cw}(x, y) - \theta_{ccw}(x, y)\} \end{aligned} \quad (34)$$

그리고, $\Gamma_1 = 0$ 와 $\Gamma_2 = \pm\pi/2$ 일 때, OTF합성을 통해 sine 성분만을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_s(x, y) = & \frac{1}{2} \left\{ h\left(x, y; 0, -\frac{\pi}{2}\right) - h\left(x, y; 0, \frac{\pi}{2}\right) \right\} \\ = & |P_{cw}(x, y) P_{ccw}(x, y)| \sin\{\theta_{cw}(x, y) - \theta_{ccw}(x, y)\} \end{aligned} \quad (35)$$

식 (34)와 (35)의 파장판의 위상지연 조합을 통한 OTF 합성의 결과를 이용하면 바이어스가 제거된 복소홀로그래를 구할 수 있으며, 이는 이전의 연구에서 제시된 결과와 일치함을 알 수 있다.[7]

Two-pupil 방법에 의한 OTF 합성을 토대로 한 해석을 통해 cosine 함수와 sine 함수를 얻을 수 있는 또 다른 파장판의 위상지연조합 해법이 존재한다. 다음 내용은 그 예를 보여준다.

첫 번째, $\Gamma_1 = \pm\pi/2$ 와 $\Gamma_2 = \pi/2$ 일 때, OTF 합성을 통해 cosine 성분만을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} h_c(x, y) = & \frac{1}{2} \left\{ h\left(x, y; \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) - h\left(x, y; -\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) \right\} \\ = & |P_{cw}(x, y) P_{ccw}(x, y)| \cos\{\theta_{cw}(x, y) - \theta_{ccw}(x, y)\} \end{aligned} \quad (36)$$

그리고, $\Gamma_1 = \pi, 0$ 와 $\Gamma_2 = \pi/2$ 일 때, OTF합성을 통해 sine 성분만을 구할 수 있다.

$$h_i(x, y) = \frac{1}{2} \left\{ h\left(x, y; \pi, \frac{\pi}{2}\right) - h\left(x, y; 0, \frac{\pi}{2}\right) \right\} \\ = |P_{cw}(x, y)P_{ccw}(x, y)| \sin\{\theta_{cw}(x, y) - \theta_{ccw}(x, y)\} \quad (37)$$

식(36)과 (37)의 전자적인 조합을 이용하면 역시 바이어스와 공액영상이 제거된 복소홀로그램을 구할 수 있다.

이러한 해석으로부터 변형 삼각간섭계에 있어서 바이어스가 제거된 복소홀로그램을 구하기 위한 OTF 합성은 여러 가지 경우가 있음을 알 수 있다. 또한, 복소홀로그램을 구현할 수 있는 pupil 함수는 여러 가지가 있으므로 보다 간단한 시스템을 구성하여 원하는 OTF 합성을 구현할 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 인코히어런트 이미징 시스템에 있어서 공간필터링을 위한 일반적인 OTF 합성에 대하여 소개하고, 이를 변형 삼각간섭계에 대하여 적용하였다.

본 논문에서는 two-pupil 합성방법을 사용하여 Cochran 삼각 간섭계와 변형 삼각간섭계의 OTF를 구하고, 두 시스템의 OTF를 비교분석하였다. Cochran 삼각간섭계의 경우에는 PSF가 하나만 생성되어 바이어스를 제거할 수 없는 것으로 나타났으며, 변형 삼각간섭계의 경우에도 one-pupil의 경우에는 바이어스나 바이폴라 함수를 구할 수 없는 것으로 나타났다. 그러나, 변형 삼각간섭계의 경우에는 two-pupil 합성의 경우에는 바이어스 제거가 가능하고 바이폴라 함수인 cosine 과 sine 함수를 구할 수 있었다. 또한, OTF 합성 방법을 통해 바이어스와 공액영상을 제거할 수 있는 파장판의 조합도 훨씬 다양하게 구성할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

References

- (1) A. W. Lohmann and W. T. Rhodes, "Two-pupil synthesis of optical transfer function," Appl. Opt. vol. 17, no. 7, pp. 1141-1151, 1978.
- (2) W. Lukosz, "Properties of linear low-pass filters for nonnegative signals," J. Opt. Soc. Am. vol. 52, pp. 827-829, 1962.
- (3) D. Coerlitz and F. Lanzl, "Methods of zero-order non-coherent filtering," Opt. Commun. vol. 20, pp. 68-72, 1977.
- (4) A. W. Lohmann, "Incoherent optical processing of complex data," Appl. Opt. vol. 16, pp. 261-263, 1977.
- (5) W. Stoner, "Incoherent optical processing via spatially offset pupil masks," Appl. Opt. vol. 17, pp. 2454-2466, 1978.
- (6) W. T. Rhodes, "Bipolar pointspread function synthesis by phase switching," Appl. Opt. vol. 16, no. 11, no. 2, pp. 265-267, 1977.
- (7) S.-G. Kim, B. Lee, and E.-S. Kim, "Removal of bias and the conjugate image in incoherent on-axis triangular holography and real-time reconstruction of the complex hologram," Appl. Opt. vol. 36, no. 20, pp. 4784-4791, 1997.
- (8) G. Cochran, "New method of making Fresnel transforms with incoherent light," J. Opt. Soc. Am. vol. 56, pp. 1513-1517, 1966.
- (9) A. Yariv and P. Yeh, Optical Waves in Crystals(Wiley, New York, 1984), Chap. 5.

- 감사의 글 -

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공항공동 연구소(03-504) 주관으로 수행된 과제임.

◇ 저자소개 ◇

김수길 (金秀吉)

1965년 8월 2일생. 1988년 2월 서울대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1991년 2월 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 2월 서울대학교 대학원 전기공학부 졸업(박사). 1997년~현재 호서대학교 전기정보통신공학부 부교수, 본 학회 사업이사.